



SUBSECRETARIA DE CONSTRUCCION
DIRECCION GENERAL DE IRRIGACION Y CONTROL DE RIOS
DIRECCION DE GEOHIDROLOGIA Y DE ZONAS ARIDAS
DEPARTAMENTO DE INFORMACION Y CONTROL DE DATOS

BOLETIN Nº 10 1º JUNIO 1976

PUBLICACION MENSUAL DE DIVULGACION TECNICA EN EL CAMPO DE LA GEOHIDROLOGIA,
EN LO RELATIVO A LA EXPLORACION, EVALUACION Y CONSERVACION DE LOS
RECURSOS DE AGUA SUBTERRANEA, ELEMENTOS DE IMPORTANCIA PARA EL DESARROLLO

RESUMEN DEL ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO
E HIDROGEOQUÍMICO DE LA PENINSULA DE YUCATAN

Por: ING. JUAN MANUEL LESSER

INTRODUCCION.-

La Geohidrología de la Península de Yucatán, presenta características muy especiales debido, entre otras cosas, a la fácil disolución de las formaciones carbonatadas que constituyen la denominada "losa calcárea yucateca" lo cual ha ocasionado una gran permeabilidad, provocando que el agua de lluvia se infiltre rápidamente hacia el subsuelo, sin dar lugar a que se formen corrientes superficiales.

La alta permeabilidad de las calizas, aunada a las características, topográficas, morfológicas y litológicas de la zona, hacen de la Península de Yucatán una región típica para estudiar y comprender el comportamiento del agua subterránea en acuíferos calizos.

Con el objeto de conocer el funcionamiento hidrológico de Yucatán, la Dirección de Geohidrología y de Zonas Áridas, de la Secretaría de Recursos Hídricos, la Universidad de Nueva Orleans y el U.S. Geological Survey, elaboraron a través del Consejo Nacional de Ciencia Tecnológica de México y de la Fundación Nacional de Ciencias de los Estados Unidos, el Estudio de las Calizas de la Península de Yucatán.

La Península, se encuentra situada entre los paralelos 18° y 22° de latitud Norte y los Meridianos -- 86° y 91° al Oeste de Greenwich. (FIG. 1).

En el área en estudio se afrontan dos grandes problemas: El abastecimiento de agua y la eliminación de aguas negras.

En las zonas costeras, el agua potable está contaminada por el agua de mar, haciéndola inaprovechable. Respecto a la eliminación de aguas negras, éstas actualmente son infiltradas al subsuelo por medio de pozos superficiales, que contaminan el acuífero de agua dulce.

Para ayudar a resolver estos problemas, se efectuó un estudio geohidrológico e hidrogeoquímico de la Península, tendiente a conocer el funcionamiento

del agua subterránea, para de ésta manera, poder planear, en forma más acertada, la extracción del líquido para el abastecimiento doméstico, turístico, industrial, riego y abrevadero, así como para determinar el proceso más adecuado de eliminación de aguas negras para que no contaminen el acuífero de agua dulce.

Para ello, se llevaron a cabo reconocimientos geológicos de campo, censo de aprovechamientos hidráulicos subterráneos, así como nivelaciones topográficas; lo que se comenta a continuación.

Para tener un conocimiento lo más amplio posible, del marco geológico en que se mueve el agua subterránea, se hicieron estudios de campo a través de las principales vías de comunicación de toda la Península, observándose con dificultad los afloramientos debido a la espesa vegetación que los cubren.

Se censaron un total de 265 aprovechamientos, los cuales corresponden a: 20 pozos, 27 canales, 194 norias, y 24 de otros tipos, distribuidos en toda la Península.

En la comisión de Estudios del Territorio Nacional, CETENAL, se obtuvieron 303 bancos de nivel, localizados a lo largo de las rutas Mérida- Puerto Juárez y Valladolid- Chetumal.

PERFILES TOPOGRÁFICOS.

A partir de los bancos de nivel se formaron perfiles topográficos observándose que la Península tiene alturas máximas del orden de 30 m.s.n.m. hacia la parte central y que disminuyen hacia las costas.

En el perfil entre Mérida y Puerto Juárez, (FIG. 2), en los alrededores del poblado de Leona Vicario, existe una zona con alturas entre 4 y 10 m.s.n.m. la cual corresponde a una depresión regional de forma alargada, que se extiende desde la Laguna de Yalahán al Norte, hasta el Río Hondo al Sur, entre México y Belice. Esta depresión parece ser la consecuencia de fallas regionales, orientadas NE-SW.

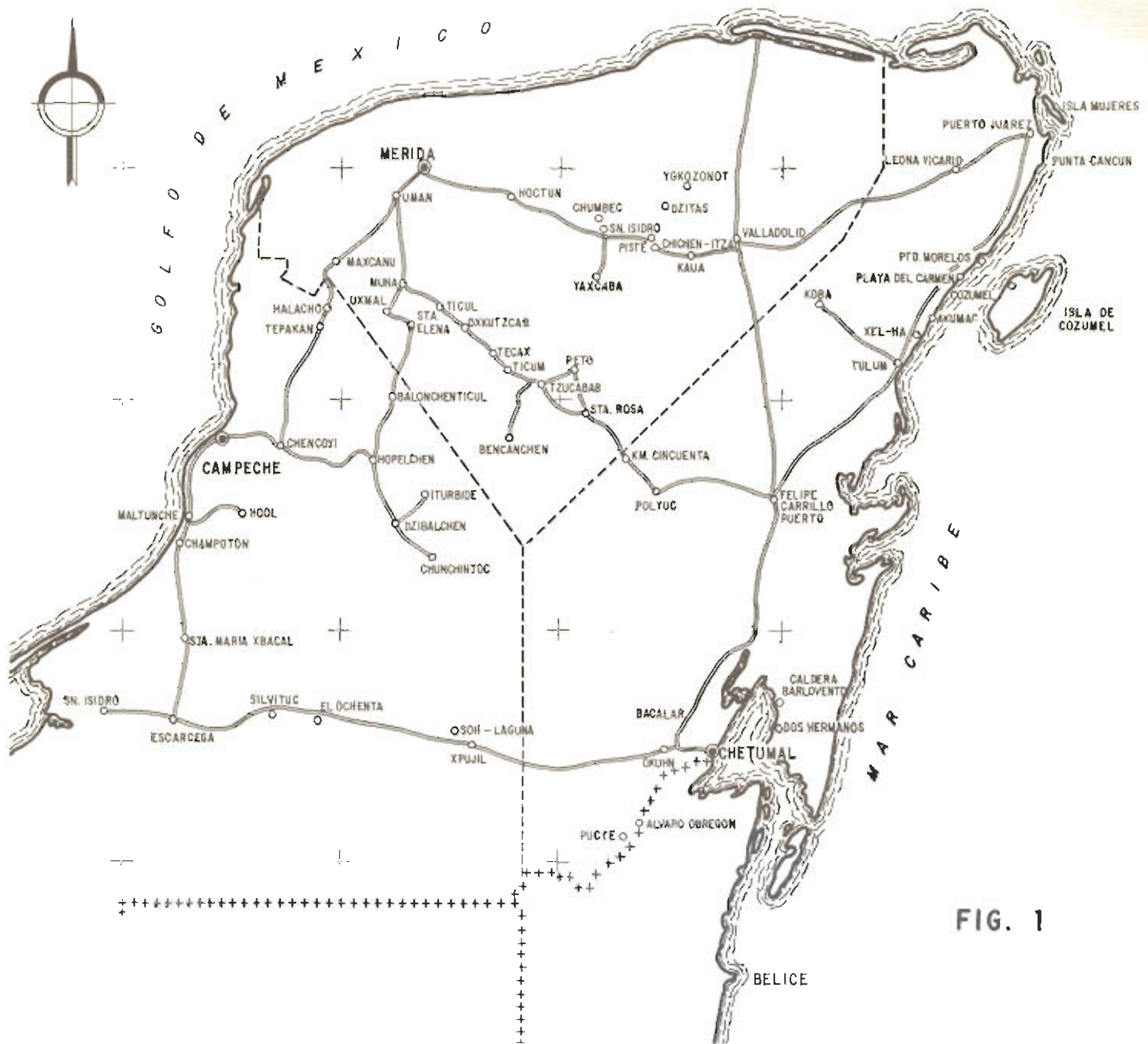


FIG. 1

GEOLOGIA

La Península de Yucatán, es una plataforma cubierta por sedimentos calcáreos de edad Terciaria. Las rocas más antiguas que afloran son calizas del Paleoceno. Sobre estas rocas se encuentra la Formación Chichén-Itzá, del Eoceno, integrada por una serie de calizas masivas de color blanco, micro-cristalinas, -- con algunos horizontes de calizas lacustres, margas, yesos y anhídritas. (Fig.4).

El Mioceno Superior está representado por la Formación Bacalar, constituida por calizas margosas blancas, suaves, con nódulos duros y yesos en la parte inferior.

Sobre esta unidad, se encuentran las Formaciones Carrillo Puerto y Estero-Franco del Plioceno. La primera está formada hacia la parte inferior por una coquina de 1 m de espesor, cubierta por una caliza muy dura, rica en Penróplidas. Hacia arriba se localizan calizas cada vez más impuras, a menudo arcillosas, de colores que van del amarillento al rojizo, formando suelos lateríticos. Los niveles superiores están

representados por calizas blancas duras y masivas.

La Formación Estero-Franco, está constituida por calizas y dolomitas amarillentas, que en ocasiones presentan nódulos de calcita con textura sacaroide. Sobre estas rocas, se encuentran una serie de calizas de moluscos y coquinas masivas de color blanco, que fueron depositadas durante el Pleistoceno y el Reciente. Las rocas más nuevas consisten en depósitos cuaternarios, localizados hacia la parte Norte y Oeste.

TECTONICA

Los ejes tectónicos de la Península de Yucatán se agrupan en dos direcciones prácticamente --perpendiculares: una orientada NE-SW, localizada a lo largo de la costa Oriental, que incluye la fosa marina que bordea hacia el Este, en la que se han desarrollado una serie de fallas, evidenciadas por estudios magnetométricos realizados por Petróleos Mexicanos, -- así como por el alineamiento del Río Hondo, La Laguna de Bacalar y las Bahías de Chetumal y La Ascención. -- La otra orientación está representada por la Sierrita

FIG. 1.- PERFIL HIDROLOGICO MERIDA - PTO. JUAREZ

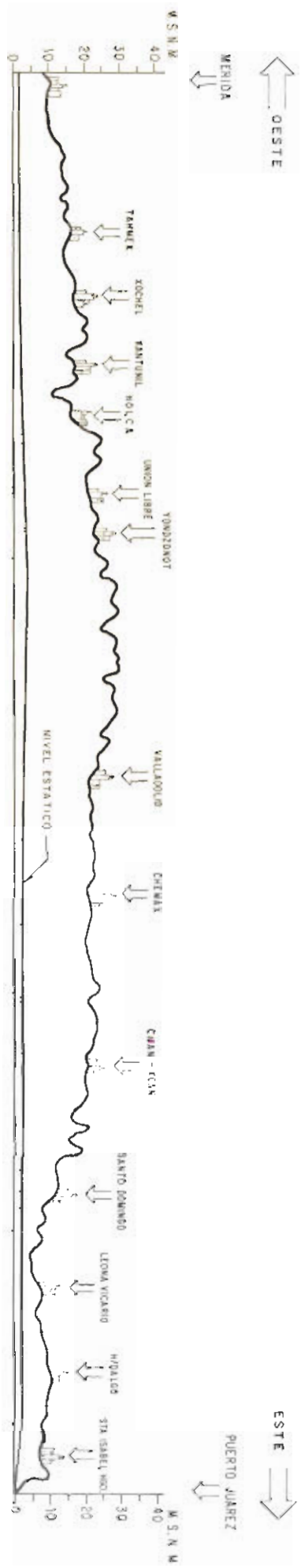
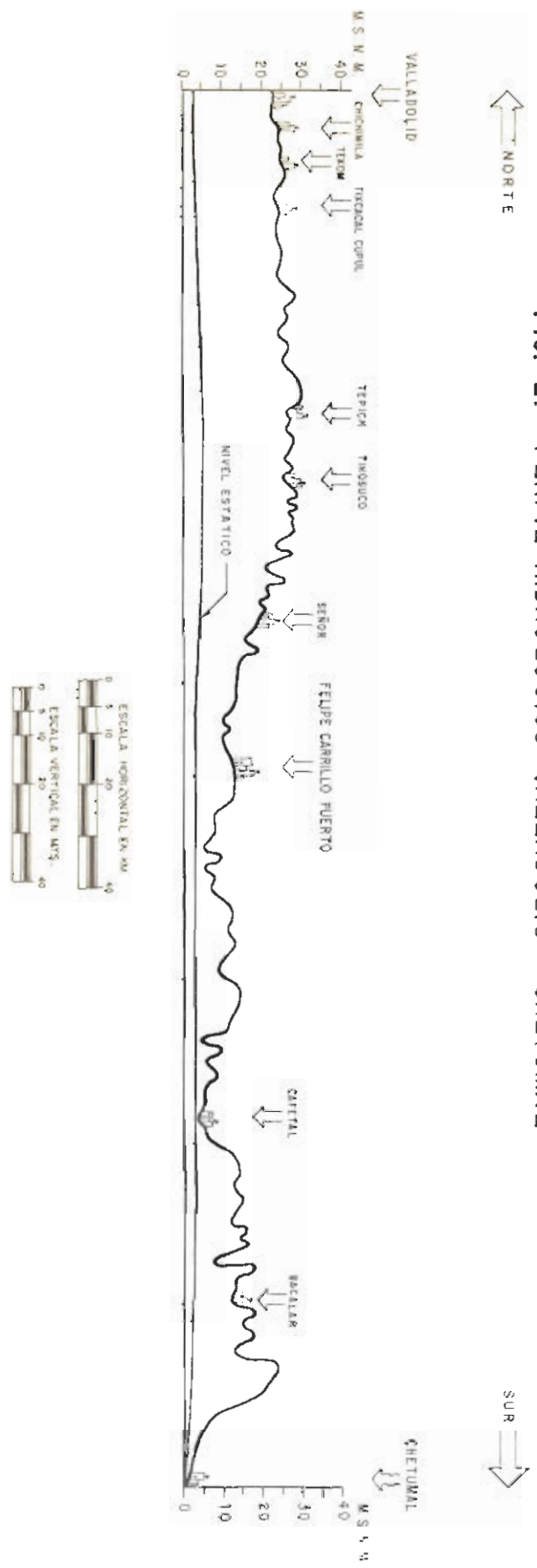
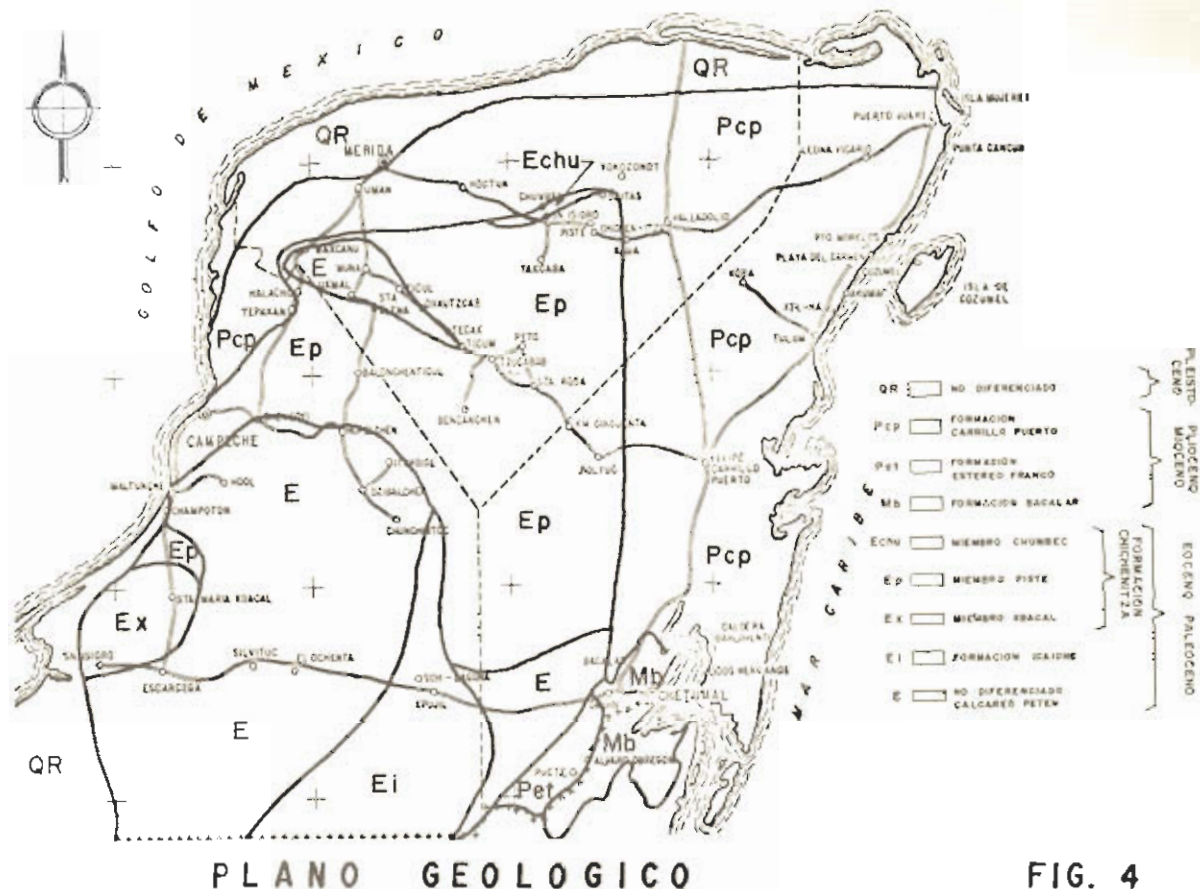


FIG. 2.- PERFIL HIDROLOGICO VALLADOLID - CHETUMAL





PLANO GEOLOGICO

FIG. 4

de Ticul, cuyo eje topográfico va de NW a SE.

Estos dos sistemas se presentan también en fracturas de diferentes dimensiones que afectan a las calizas de la costa del Mar Caribe, en especial en la Caleta de Xel-Há, Q.R., donde se han producido una serie de canales a partir del fracturamiento en las direcciones citadas.

Desde la Laguna de Yahalá, hasta el Río Hondo, entre México y Belice, se observa una depresión con alturas entre 4 y 10 m.s.n.m., que es una consecuencia de las fallas tectónicas mencionadas. A lo largo de esta zona, el nivel freático se encuentra muy somero y en ocasiones aflora, dando origen a una serie de pequeñas lagunas denominadas "sabanitas", principalmente al Sur de Leona Vicario, donde están alineadas.

INTRUSION SALINA:

A lo largo de las líneas de Costa, el agua de los acuíferos se encuentra descansando sobre el agua de mar debido a la diferencia de densidades. El contacto entre las dos masas de agua, conocido como "interfase salina" se encuentra en equilibrio dinámico, por lo cual, las modificaciones en las condiciones originales del acuífero, producen cambios en la posición del contacto entre las dos masas de agua. La profundidad a la cual se encuentra la interfase, está dada por la relación $h_2 = 40h_1$

Donde h_1 es la elevación a la superficie del agua, medida a partir del nivel del mar y h_2 es la profundidad a la interfase bajo el mismo nivel de referencia.

HIDROLOGIA SUBTERRANEA.

La Península de Yucatán está formada por rocas calcáreas del Terciario. Estas, debido a su gran permeabilidad y a la morfología de la región, originan

la existencia de un acuífero calizo con nivel muy cercano a la superficie en casi toda la zona, excepto en la parte sur donde las profundidades máximas son del orden de 100 mts., disminuyendo dicha profundidad en forma radial hacia las Costas.

A lo largo de la ruta Mérida-Puerto Juárez (Fig.2), se localizaron 32 aprovechamientos en los que se obtuvieron, por medio de nivelación diferencial, la altura del nivel estático con respecto al nivel medio del mar, el cual se encuentra alrededor de 2.30 entre Mérida y Xochel; a 3.00 m.s.n.m. entre Xochel y Valladolid y de 4.00 a 0, de Santo Domingo a Puerto Juárez. En la Fig.5, se muestra la configuración de la elevación del nivel estático, con respecto al nivel medio del mar, así como la dirección del movimiento del agua subterránea.

De estas elevaciones y tomando en cuenta la relación de Gyben Herzberg, se deduce que el lente de agua dulce bajo la Península, debe de tener espesores máximos que varían de 0 a 160 mts.

A partir de los datos anteriores, se pueden mencionar que:

- La transmisibilidad del acuífero es muy grande.
- El agua subterránea fluye, de la zona localizada entre los poblados de Valladolid y Santo Domingo, hacia el Este, Norte y Oeste en forma radial.
- Hacia las Costas, la altura del nivel estático, con respecto al nivel del mar, varía de 0 mts. en las Costas a 4, en la parte central de la Península.
- Este acuífero se extiende horizontalmente bajo la mayor parte del área estudiada, con espesores teóricos que varían entre 0 y 160 mts., por lo que su explotación debe planearse tomando en

cuenta estas características.

— Al no existir arroyos, la porción de lluvia que resta a la evaporación se infiltra, de manera que todos los sitios en los que existe precipitación, constituyen las zonas de recarga del acuífero.

— A estos volúmenes infiltrados corresponden descargas casi simultáneas -- hacia el mar y en cantidades similares.

AGUAS DE DESECHO

Uno de los principales problemas que afronta la Península, es la localización de áreas y dispositivos de desecho para depositar las aguas negras de las ciudades, que actualmente son infiltradas al acuífero de agua dulce por medio de pozos superficiales -- que se localizan en cada casa. Mérida, cuenta con un pozo de absorción, perforado a 200 mts. de profundidad, en donde son inyectadas las aguas negras de la Colonia Alemán. El resto de la ciudad elimina sus desperdicios por medio de pozos superficiales.

La eliminación de aguas negras, como se -- viene efectuando, contamina el acuífero de agua dulce que es la única fuente de agua para consumo humano.

En varias ocasiones, se ha pensado en la -- posibilidad de conducir las aguas negras de Mérida -- al mar, mediante tuberías que tendrían que depositar los residuos a varios kilómetros de la costa, donde -- el mar tuviera una profundidad suficiente, pero esto constituye una inversión costosa.

La solución más factible que se presenta a este problema, es el tratamiento de las aguas negras y la inyección de los residuos en pozos de absorción, llevados a profundidades tales que la salinidad del -- agua supere las 2,000 ppm, donde los desechos por su alta densidad pierden su tendencia a subir. La perforación de estos pozos es más recomendable a lo largo -- de la zona costera, ya que el agua dulce de la Península se desplaza en esa dirección.

CLIMATOLOGÍA:

Para el conocimiento de las condiciones -- climatológicas que prevalecen en el área comprendida por el estudio, se contó con los registros de 43 estaciones meteorológicas, de las cuáles se obtuvo que la precipitación media anual en el Noroeste, cerca de Progreso, es de 500 mm.; en la porción Noreste, cerca de -- Chan-Xcan es de 1,500 mm.; y hacia el Sur es de 1,200 mm.

Con estos datos se calculó la precipitación media anual en el área: 1,050 mm.

Por lo que respecta a la temperatura media anual resultó ser de 26°C.

Por el método de L. Turc se obtuvo que la -- evapotranspiración real es de 954 mm. pero, debido a la rápida infiltración del agua al subsuelo de esta región y a algunas observaciones y mediciones de campo, se consideró éste un valor elevado, por lo cual se le restó el 5%, obteniéndose un valor de 900 mm. para la evapo-transpiración real.

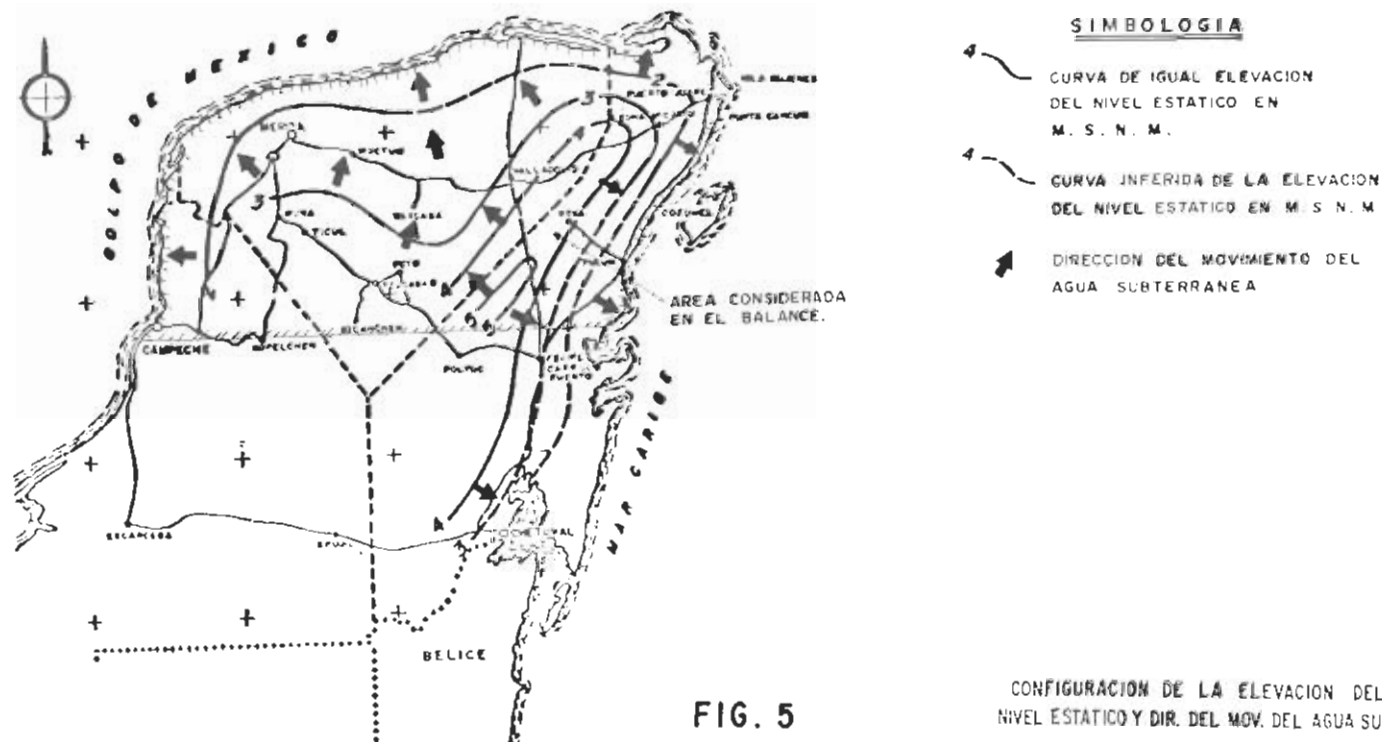


FIG. 5

CONFIGURACION DE LA ELEVACION DEL NIVEL ESTATICO Y DIR. DEL MOV. DEL AGUA SUBT.

EXTRACCION.

Habiendo estimado la población de la zona en un millón y cuarto de habitantes y, suponiendo que cada uno utilice 100 litros de agua por día, dá un consumo de $50 \times 10^6 \text{ m}^3$ que, sumados a los 300 que se extraen para riego y abrevadero, dá un total de $350 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$.

ECUACION DE BALANCE VOLUMETRICO:

En base a los datos hidrológicos superficiales se estableció la siguiente ecuación de balance volumétrico:

$$(P - E_r) A = VI$$

Donde P es la precipitación; E_r , la evapotranspiración real; A, el área y VI es el volumen infiltrado.

La precipitación menos la evaporación real es igual a 150 mm., los cuales multiplicados por los 62,240 Km.² que corresponden al área de la mitad Norte de la Península (Fig.5) dá un volumen de agua infiltrada al acuífero de alrededor de $9,350 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$. Esta cantidad menos los 350 que actualmente se utili-

zan, dan un volumen disponible de agua que va al mar de $9,000 \times 10^6$ que corresponde a un caudal instantáneo de $254 \text{ m}^3/\text{seg}$.

HIDROGEOQUIMICA:

Con el fin de delimitar las zonas con diferentes tipos de agua, así como definir el funcionamiento del acuífero en las zonas costeras, conocer su relación con el agua de mar y la calidad del líquido, respecto a su contenido de sales inorgánicas para uso potable, industrial, riego y abrevadero, se obtuvieron muestras de agua de los 265 aprovechamientos censados a las cuáles se les practicó un análisis químico, cuyos resultados se llevó a cabo la interpretación hidrogeológica.

Se obtuvo la familia de agua a que pertenece cada muestra, encontrándose tres tipos principales: en la zona costera se localiza agua sodico-clorurada (Fig.6) originada por la contaminación del agua de mar que hay bajo el acuífero; el segundo tipo contiene agua mixta, que corresponde a un área de transición entre la zona costera y la parte central de la Península; y el tercero tiene agua de la familia cálcica bicarbonatada, ya que circula por rocas calizas.

Existen zonas esporádicas como al Norte de Chetumal, Q.R. y al Noreste de Valladolid, Yucatán, con agua CaSO_4 (cálcica sulfatada) por la presencia de horizontes de yeso y anhidrita entre las formaciones calcáreas.

El agua subterránea, se estratifica de acuerdo a su densidad, la cual está en función, entre otras cosas, de la salinidad. Así, el agua con mayor cantidad de sales tiende a ocupar las partes bajas mientras que la menos salada, flota sobre la primera.

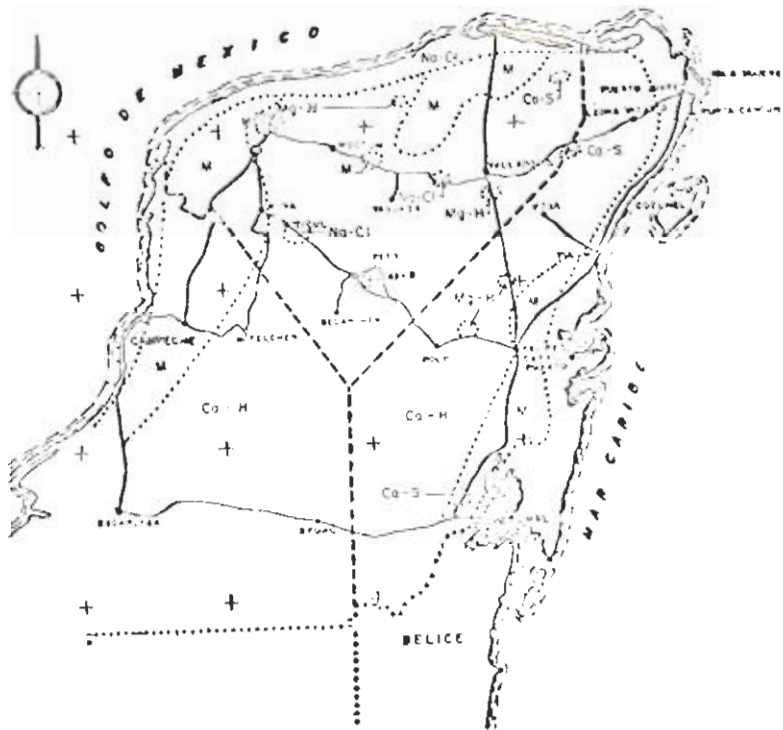
Para conocer la distribución vertical de la calidad del agua, se midió en 36 pozos norias y cenotes su conductividad a diferentes profundidades, obteniéndose los perfiles hidrogeológicos cuyos resultados se comentan a continuación.

En la parte central de la Península, únicamente en los Cenotes de Sayab-Occil, Kol Ac, Unión Libre y Valladolid (Fig.7), se detectaron cambios de salinidad, observándose que el espesor de agua dulce varía de 0 a 25 mts.; la zona con mezcla de agua dulce-agua salada varía de 7 a 20 mts. y el agua salada se encuentra a profundidades mayores entre 20 y 35 mts.

En las mediciones efectuadas hacia las Costas de la Península, se detectaron claramente distintos cuerpos de agua de diferente salinidad. Hacia la parte superior se encontró agua dulce con menos de 1,400 ppm. Bajo ésta se encuentra otro horizonte que corresponde a una zona de mezcla de agua dulce y salada. Cuando los cenotes eran lo suficientemente profundos, se pudo detectar agua salada en el fondo, la cual tiene concentraciones mayores de 2,100 ppm. de sólidos totales disueltos.

La población de Cancún, Q.R., es abastecida de agua potable, por medio de 13 pozos perforados a 25 Km. al Oeste de la Costa, a la orilla de la carretera Puerto Juárez-Valladolid.

Se logró medir la conductividad eléctrica en 6 de los 13 pozos y con los resultados se formó un perfil hidrogeológico ----



SIMBOLOGIA

- Na-Cl AGUA SODICO CLORURADA
- M AGUA MIXTA
- Ca-H AGUA CALCICO BICARBONATA
- Mg-H AGUA MAGNESIANA BICARBONATA
- Ca-S AGUA CALCICA SULFATADA

FAMILIAS DE AGUA
FIG. 6

FIG. 7 PERFIL HIDROGEOQUIMICO "UNION LIBRE"

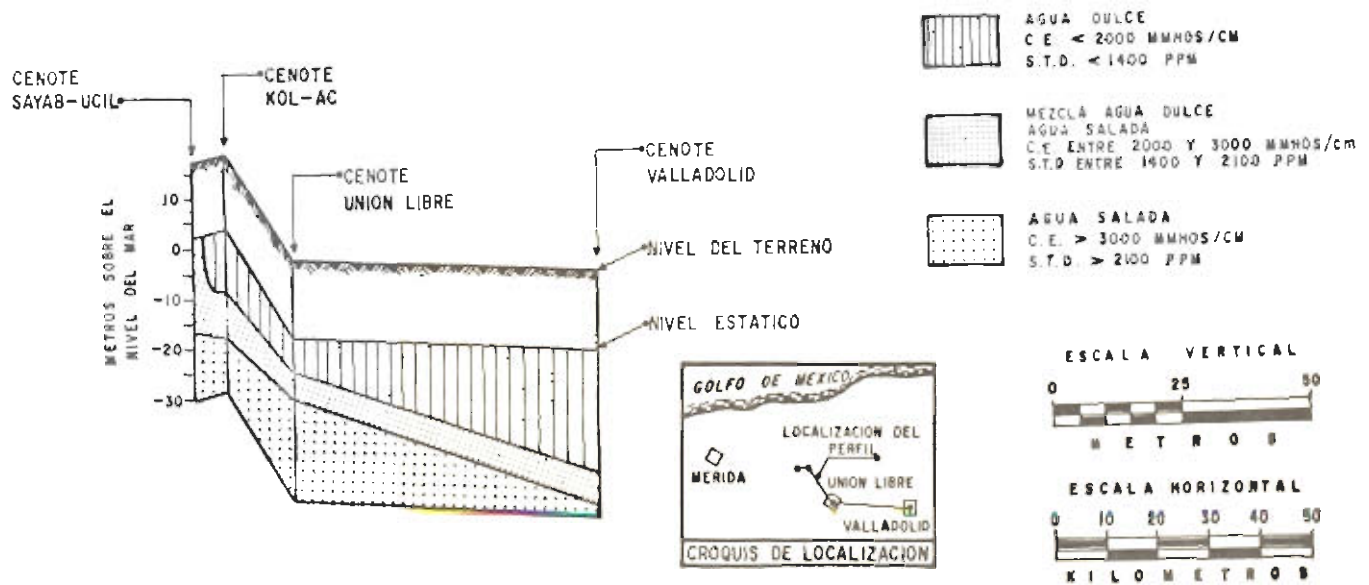


FIG. 8 SISTEMA DE POZOS ; PARA ABASTECIMIENTO DE CANCUN, Q.R

(Fig.8) observándose que el estrato de agua dulce, se presenta en los pozos 4, 11 y 13 con un espesor de menos de 1 metro. El horizonte de mezcla de agua dulce salada, se observó en todos los pozos, con un espesor que varía de pocos centímetros a 7 metros.

Con la conductividad medida en los pozos que abastecen de agua potable a Cancún y, tomando en cuenta la forma y profundidad de la intrusión de agua salada a partir del nivel freático conocido, se formó el perfil hidrogeoquímico (Fig.9), el cual muestra la posición de los diferentes cuerpos de agua salina detectada.

Partiendo del conocimiento adquirido sobre la profundidad al nivel estático, la estratificación del agua y la posición de la interfase de agua dulce salada, se elaboró un diagrama isométrico (Fig.10) que muestra la calidad del agua en Yucatán, donde se observa que, en general, en el centro de la Península, se encuentra un manto de agua dulce, que hacia las costas desaparece o se tiene en espesores reducidos.

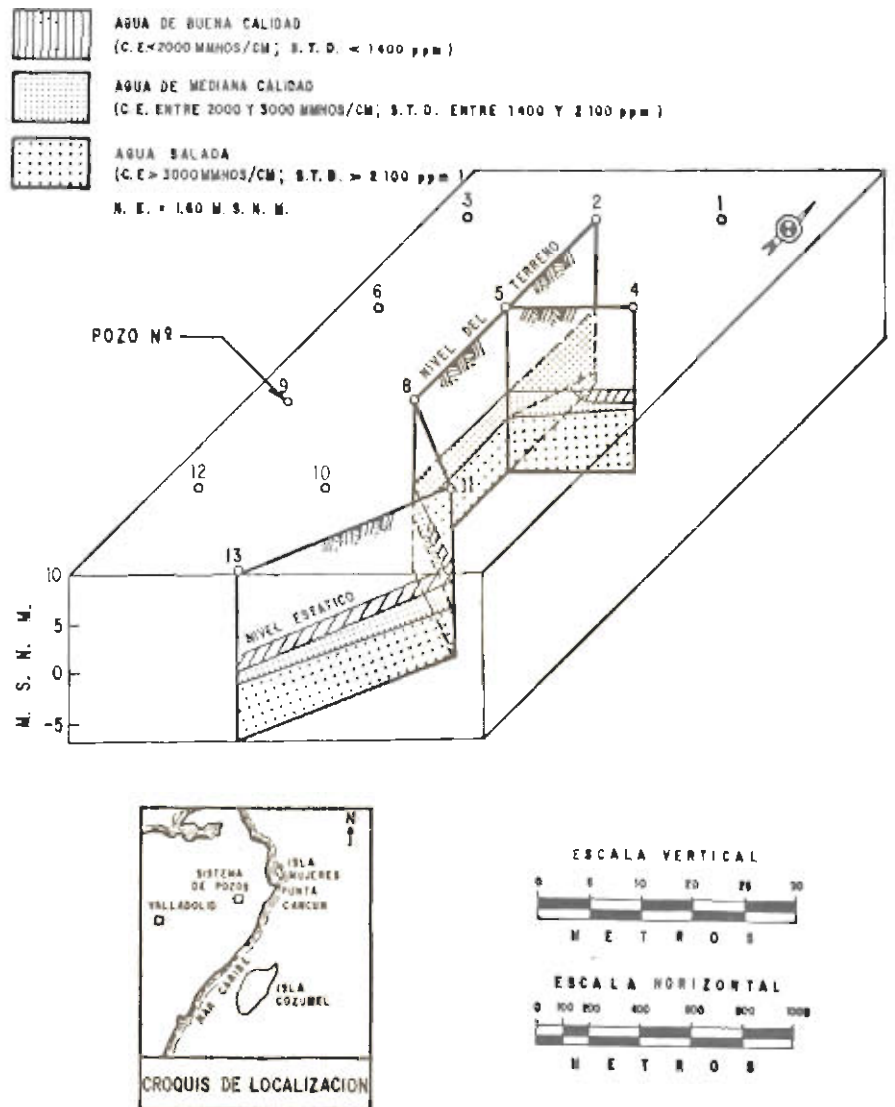
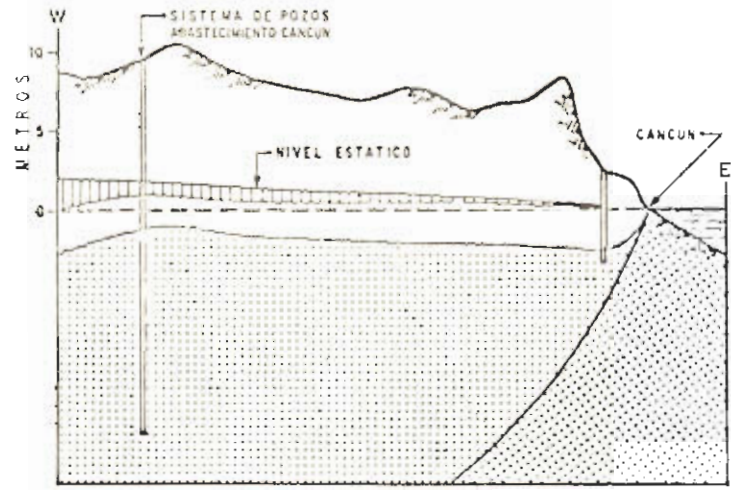


FIG.- 9

SECCION: HIDROGEOQUIMICA "CANCUN"







-  AGUA DE BUENA CALIDAD ($C.E. < 2000$ mmhos/cm)
(S.T.D. < 1400 ppm)
-  AGUA DE MEDIANA CALIDAD ($C.E.$ ENTRE 2000 Y 3000 mmhos/cm)
(S.T.D. ENTRE 1400 Y 2100 ppm)
-  AGUA SALADA ($C.E. > 3000$ mmhos/cm)
(S.T.D. > 2100 ppm)
-  AGUA DE MAR ($C.E. 49000$ mmhos/cm)
(S.T.D. 34000 ppm)

DIAGRAMA ISOMETRICO MOSTRANDO LA CALIDAD DEL AGUA EN LA PENINSULA DE YUCATAN

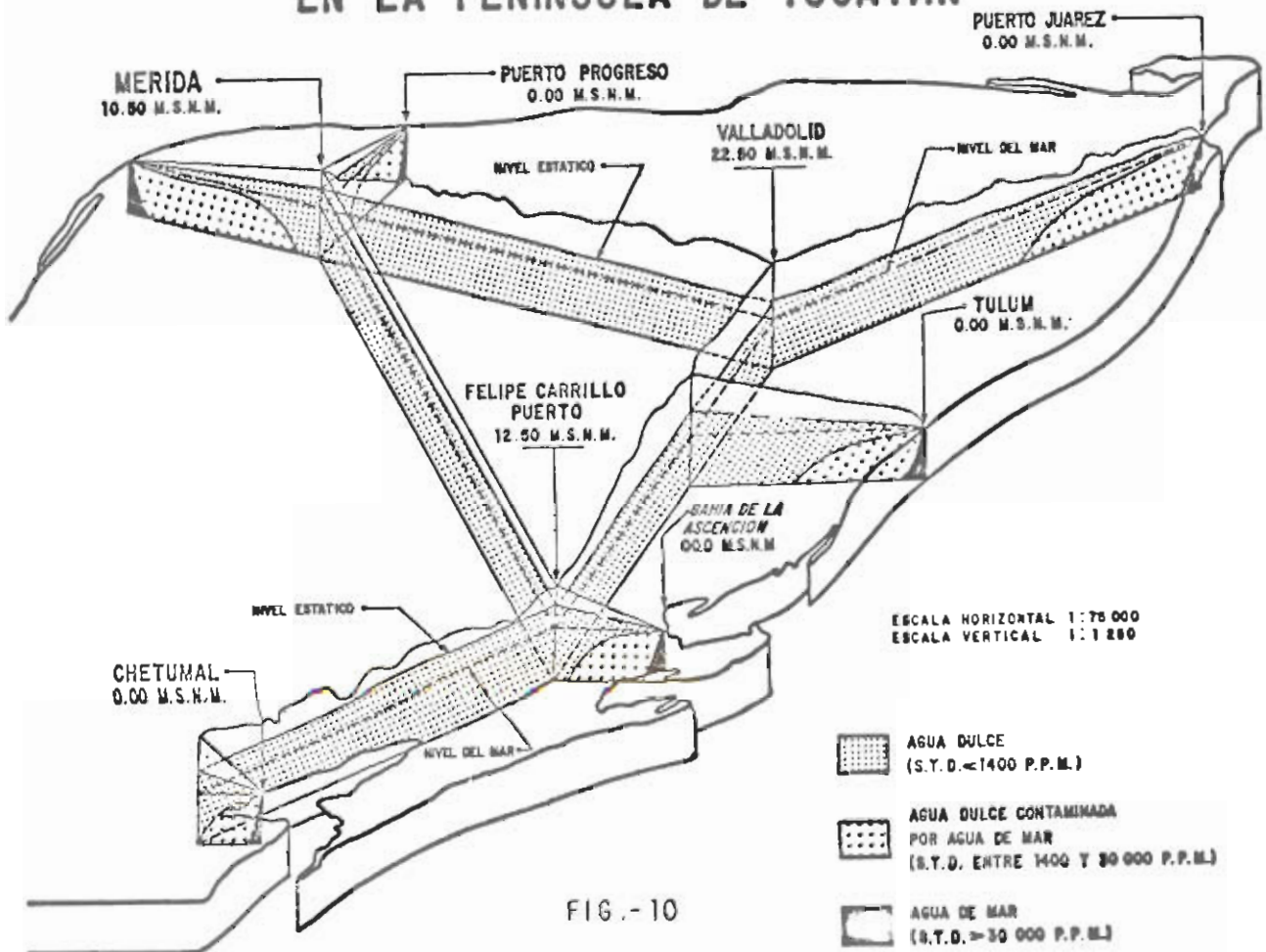


FIG.- 10

Las aguas subterráneas y superficiales que son utilizadas para satisfacer las necesidades de agua potable de zonas urbanas, así como la que se destina a la agricultura, ganadería e industria, necesitan cumplir con ciertos requisitos, respecto a su contenido de elementos químicos, a sus propiedades físicas y a la presencia de materia orgánica.

Para conocer la calidad del agua para uso potable, se comparan las normas de calidad o límites máximos permisibles que fueron publicados por la Secretaría de Salubridad y Asistencia, en el Diario Oficial del día 2 de Julio de 1953. Y también publicada en el Boletín de Divulgación Técnica No. 8, de la Dirección de Geohidrología y de Zonas Áridas.

CARACTERISTICAS BIOLÓGICAS

En general, el agua subterránea de la Península es de buena calidad respecto a su contenido de materia orgánica, excepto en ciudades y poblaciones, donde las aguas negras municipales son infiltradas al acuífero por medio de fosas sépticas y cenotes.

El grado de contaminación aumenta mientras la población es más grande, así el mayor problema se registra en la Ciudad de Mérida en donde el Dr. José Herrera Díaz, en su trabajo titulado: "Enfermedades Hídricas" (1960) al analizar las estadísticas de mortalidad infantil, observó que el 41% de las defunciones en niños menores de 6 años, fueron ocasionadas por enfermedades hídricas. Actualmente este porcentaje ha disminuído, debido a que la ciudad cuenta con sistema de agua potable; mas nó de alcantarillado por lo cual el acuífero tiene un alto grado de contaminación.

Con el objeto de mostrar el grado de contaminación del agua subterránea en la Ciudad de Mérida, a continuación se presenta una tabla en donde se muestran los principales índices con los que se detecta la contaminación por presencia de materia orgánica y el rango de variación de valores promedio.

INDICES QUE MUESTRAN LA PRESENCIA DE MATERIA ORGANICA EN EL AGUA SUBTERRANEA EN LA CD. DE MERIDA.**

INDICE	LIMITE MAXIMO PERMISIBLE	RANGO PROMEDIO EN QUE SE ENCUENTRA
COLIFORMES	200*	1 500 a 8 100 *
FOSFATOS (PO ₄)	0.01 mg/l	1.14 a 5.6 mg/l
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO.	4 mg/l	20 a 35 mg/l
NITROGENO ORGANICO	0.1 mg/l	0.7 a 1.5 mg/l

* Colonias Bacterianas por centímetro cúbico de muestra.

** Datos proporcionados por el Ing. Julio Retana V. Residente de Usos del Agua y Prevención de la Contaminación en Mérida Yuc.

Se compararon los resultados de los análisis efectuados en el presente trabajo, con los límites máximos permisibles, a partir de lo cual se dividió el área en dos partes: Parte Central de la Península y Zona Costera.

En la Parte Central de la Península, el agua es en general de buena calidad respecto a los constituyentes físicos y químicos. Existen en zonas aisladas, concentraciones altas de sólidos totales disueltos y sulfatos que hacen que esta agua no sea apropiada para uso potable. En varios informes se ha reportado la presencia de aguas altamente sulfatadas al suroeste de la Ciudad de Mérida, así como en la porción sur de la Península lo cual no pudo ser verificado con los análisis efectuados en el presente trabajo, debido a que se muestrearon dichas áreas.

En la Zona Costera, algunas de las muestras analizadas, contienen concentraciones altas de sólidos totales disueltos, donde predominan el sodio y el cloro, haciéndola inapropiada para usos domésticos. Esto como se mencionó en capítulos anteriores, se debe a que el agua dulce se encuentra en espesores muy delgados "flotando" sobre el agua de mar, lo cual ha acarreado problemas al abastecimiento de agua, por ello, la extracción del agua subterránea debe hacerse mediante dispositivos especiales según se comenta en el inciso siguiente:

FORMA DE EXTRACCION DEL AGUA DULCE EN ZONAS COSTERAS

La mayor parte de las extracciones de agua subterránea que se habían venido realizando en las zonas costeras, principalmente en las que corresponden al Estado de Quintana Roo, se hacían extrayendo agua por medio de equipos de bombeo con columnas, taponas, etc., que se introducían en el pozo y succionaban agua a cierta profundidad (2 a 20 m). De este modo, se provocaba la intrusión del agua salada ya sea de forma inmediata o después de cierto tiempo. Así mismo, el abatimiento excesivo del nivel freático inducía la intrusión vertical del agua salada.

Con el objeto de controlar la cantidad óptima de agua por explotar, así como el extraer solamente el agua dulce que se encuentra en espesores muy delgados sobre el agua salada, la Dirección de Geohidrología y de Zonas Áridas, de la S.R.H., ha ideado el dispositivo siguiente:

Se introduce en el pozo, un ademe ciego en toda su longitud y sellado en su parte inferior. En el ademe se abren orificios o ventanas, a través de las cuáles el agua del acuífero entra el ademe (Fig. 11)

El caudal que se puede extraer, se restringe al que entre por dichas ventanas, controlando así los abatimientos excesivos.

Las ventanas pueden ser de alrededor de 20 cms., y deben localizarse entre el nivel estático y el nivel del mar. Para ello, deben de tomarse en cuenta las variaciones del nivel estático en épocas de lluvia y estiaje.

DISPOSITIVO PARA EXTRAER AGUA DE LA
PARTE SUPERIOR DE UN ACUIFERO LIBRE,
POR MEDIO DE POZOS

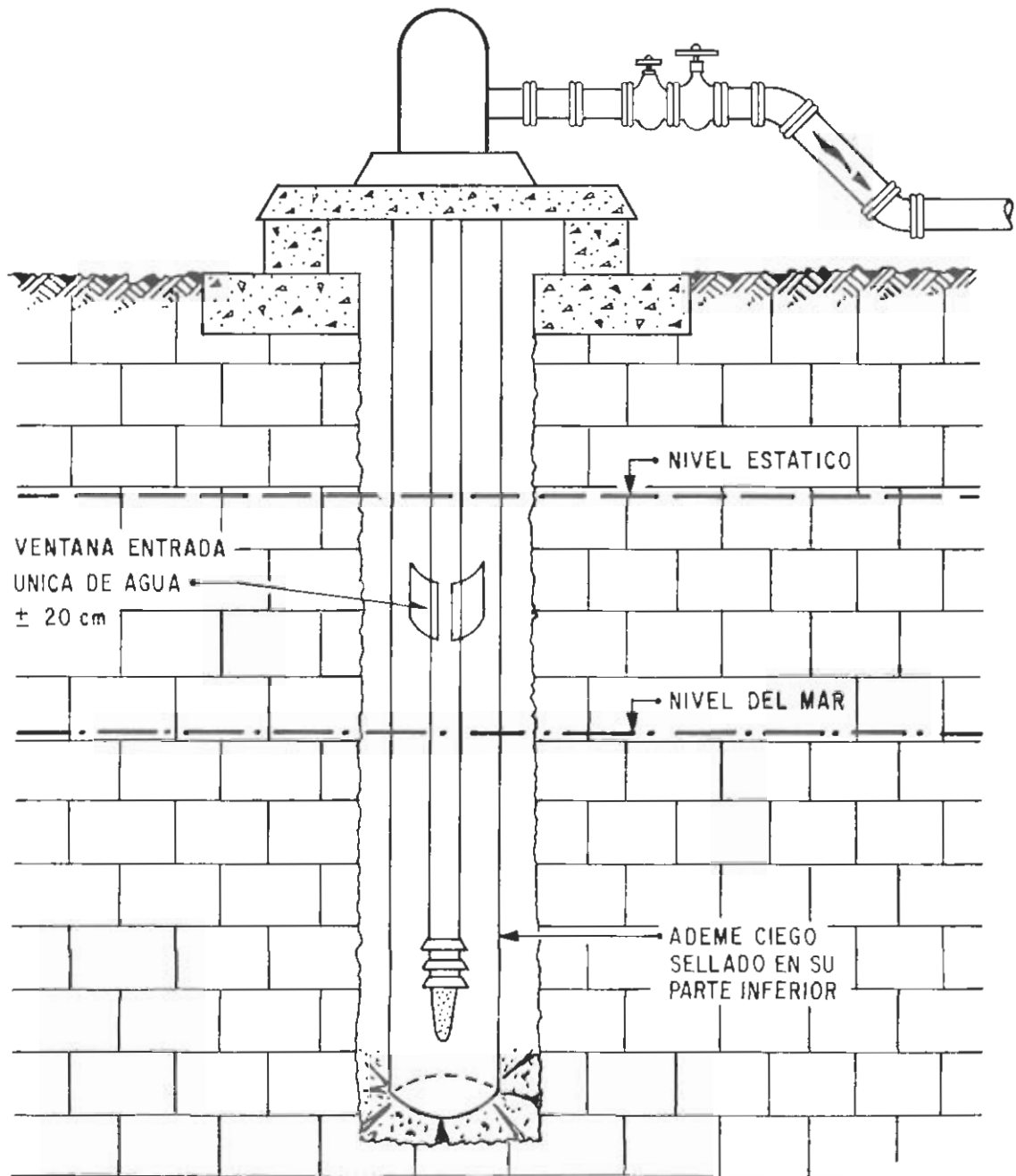


FIG. 11

Formó: Ing. H. Leaser J.

Dibujó: Carlos de la Torre Ayala

CONCLUSIONES.

Existe un horizonte de agua dulce bajo la Península de Yucatán, que tiene un espesor de aproximadamente 160 Mts., en su centro y se adelgaza en dirección al mar en donde llega a tener pocos centímetros de espesor y en ocasiones no existe.

El balance hidrológico superficial, arrojó una cifra de 254 m³/seg. de agua disponible en la mitad norte de la Península.

A lo largo de las costas, en una franja de alrededor de 20 Kms., de ancho, el agua subterránea está influenciada por el agua de mar.

La solución más factible al problema de la eliminación de aguas negras, en su tratamiento y el desecho de los residuos a través de pozos de absorción.

RECOMENDACIONES.

La explotación del agua subterránea en las zonas costeras e islas, debe hacerse lo más alejado posible de la costa, mediante dispositivos que permitan extraer solamente el agua del horizonte superior, controlando así la invasión de agua salada.

Distribuir la explotación con el objeto de no producir abatimientos locales fuertes, que puedan originar la invasión de las aguas saladas inferiores.

Localizar los pozos de absorción en las inmediaciones de las costas, donde existe menor peligro de contaminación.

REFERENCIAS.

Anaya Sorribas Manuel y Heinz Lesser Jones, 1959. - Informe sobre la visita efectuada en la Ciudad de Mérida para estudiar sus abastecimientos de Agua Potable y la Eliminación de Aguas Negras. Memo.-1.2.-62 Consultivo Técnico, S.R.H.

Back William and Bruce Hanshaw, 1967. Hydrogeology of the Northern Yucatan Peninsula, Mexico. In: Yucatan Field Trip Guide Book, Second Edition. New Orleans Geological Society.

Back William and Bruce Hanshaw, 1970. Comparison of Chemical Hydrogeology of the Carbonate Peninsulas of Florida and Yucatan. Journal of Hydrology, Volumen - X, No.4.

Back William and Bruce Hanshaw, 1974. Hydrogeochronology of the Northern Yucatan Peninsula, Mexico, -- with a Section on Mayan Water Practices. In: Field seminar on Water and Carbonate rocks of the Yucatan Peninsula Mexico. New Orleans Geological Society.

Bonet Federico, 1959. afloramientos del Eoceno en el Norte de la Península de Yucatan. Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, Volumen II No. 1 y 2.

Bonet Federico, and Jacques Butterlin, 1967. Stratigraphy of the Northern part of the Yucatan Peninsula. - In: Yucatan Field Trip Guide Book, Second Edition. - New Orleans Geological Society.

Butterlin Jacques y Federico Bonet, 1960. Las Formaciones Cenozoicas de la parte Mexicana de la Península de Yucatan. Instituto de Geología, U.N.A.M.

Butterlin Jacques, F. Bonet, Lloyd J. et G. Dengo, 1960. Carte Géologique de la Presou'île du Yucatan.

Doehring Donald and Joseph Butler, 1974. Hydrogeologic Constraints on Yucatan's Development. In Science, Volume 186, No. 4164.

Lesser Jones Heinz, 1961. Informe sobre Fuentes de Abastecimiento de Agua para la Ciudad de Chetumal, -- Q.R. Memo.- 1.3.5.-7, Consultivo Técnico, S.R.H.

Marshall Robert, William Ward and Alfred Weidie, 1974. Stratigraphy and Depositional History of Subsurface - Mesozoic Strata of the Yucatan Peninsula. In: Field Seminar on Water and Carbonate Rocks of the Yucatan Peninsula, Mexico. New Orleans Geological Society.

New Orleans Geological Society 1961. Yucatan Field - Trip Guide Book.

New Orleans Geological Society, 1974. Field Seminar - on Water and Carbonate rocks of the Yucatan Peninsula Mexico.

Pianimex, Ingenieros Consultores, S.A., 1970. Estudio Hidrológico de las fuentes de abastecimiento de agua en Cancún, Isla Cozumel y Chetumal, Q.R.

Sangores Manzanilla, Enrique, 1956. breves Notas Sobre la Geología de la Península de Yucatan, Asociación Mexicana de Ingenieros Geólogos Petroleros. Volumen II.

Stringfield V.T. and A.E. LeGrand, 1974. Karst Hydrology of Northern Yucatan Peninsula, Mexico, New Orleans Geological Society.

Viniegra Francisco, 1971. Age and Evolution of Salt Basins of Southeastern Mexico. Am. Assoc. Petroleum Geologists Bull., v. 55 - No.1.